

雨养区苹果园土壤理化性质和果实品质对 CLP 型抗旱埧土剂的响应

安小娟^{1,2}, 郭志刚^{1,2}, 陈娜娜¹, 贾元元¹, 李玉涛³, 邹亚丽^{1,2}, 呼丽萍^{1,2*}

(1.天水师范学院 生物工程与技术学院, 甘肃 天水 741000;

2.甘肃省大樱桃技术创新中心, 甘肃 天水 741000; 3.甘肃农业大学 园艺学院, 兰州 730000)

摘要:【目的】研究 CLP 型抗旱埧土剂对旱地苹果园土壤理化性质及果实品质的影响。【方法】采用田间试验, 使用交联聚丙烯酰胺(丙烯酰胺-丙烯酸钾共聚物(CL-PAM-K, CLP))抗旱埧土剂, 共设置 4 个处理: CK(0 g/株)、T1(150 g/株)、T2(250 g/株)和 T3(350 g/株)。通过测定土壤含水率、土壤养分、果实外观品质和营养品质, 综合评价各处理对土壤理化性状和果实品质的影响。【结果】萌芽期 T1 处理 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤电导率分别下降了 5.70%、10.82%、19.64%。果实成熟期 T1 处理 20~40、40~60 cm 土层土壤含水率分别增加 7.26%、39.12%, 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤 pH 值分别下降了 3.43%、1.38%、0.23%, 果皮穿刺强度增加了 16%。250 g/株抗旱埧土剂施用量提高了萌芽期 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤含水率和土壤速效氮量和 0~20、40~60 cm 土层速效钾量, 350 g/株抗旱埧土剂施用量提高了萌芽期和成熟期 0~20、20~40、40~60 cm 土层速效磷量; 250 g/株抗旱埧土剂施用量增加了苹果果实可溶性蛋白和总酚量。【结论】350 g/株抗旱埧土剂施用量为改善旱地苹果园土壤理化性质和提高果实品质的最佳保水剂施用量。

关键词: 抗旱埧土剂; 旱地果园; 土壤理化性状; 果实品质

中图分类号: S661.1; S153

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023007

OSID: 

安小娟, 郭志刚, 陈娜娜, 等. 雨养区苹果园土壤理化性质和果实品质对 CLP 型抗旱埧土剂的响应[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(1): 35-44.

AN Xiaojuan, GUO Zhigang, CHEN Nana, et al. Response of soil physicochemical properties and fruit quality to CL-PAM-Ks in apple orchards in dryland[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2024, 43(1): 35-44.

0 引言

【研究意义】干旱问题是制约我国农业发展的重要因素^[1], 甘肃省天水市地处内陆, 属暖温带半湿润半干旱气候, 土壤层薄, 土地不肥沃且缺少灌溉条件, 天然降雨是农业灌溉用水重要来源, 但是受地理位置及气候条件影响, 年均降水量小且分布不均匀, 导致作物对降水利用效率低^[2], 因此, 提高干旱地区的作物水分利用效率尤为重要^[3-4]。【切入点】抗旱埧土剂是一种吸水 and 保水能力都很强的新型高分子材料, 含大量的强吸水基团, 可产生高渗透缔合作用并通过

基网孔结构, 吸收超过自身质量数百倍至上千倍的水^[5], 为各种农作物、果树、蔬菜等根系直接提供稳定的水分供应^[6], 保证作物的生长环境, 对提高果园水分利用效率有积极意义。白岗栓等^[7]研究表明, 施用保水剂可显著提高烤烟土壤含水率及产量, 并改善作物部分产量性状。刘伟等^[8]研究表明, 保水剂能提高芒果园土壤含水率, 促进生物量的积累, 从而提高作物产量。保水剂在改善果实品质方面也有一定作用, 荣俊冬等^[9]研究发现, 保水剂可影响麻竹叶片内可溶性糖和可溶性蛋白等成分的变化趋势, 使作物的质量和产量有明显的改善。

【研究进展】目前, 关于抗旱埧土剂的研究集中在吸水、释水及保水保肥特性方面。夏茂林研究表明 1.0~2.5 mm 粒径保水剂处理下的土壤-保水剂混合体系田间持水率较高、保水能力最强, 可有效缓解干旱胁迫对烟苗的不利影响^[10]; 杜维薇等^[11]研究表明, 土壤中添加埧土剂后可明显减轻水分渗漏, 减少土壤中氮、磷、钾素的淋失; 黄占斌等^[12]研究表明, 复合型保水剂促进植株的生长, 这主要是由于复合型保水剂结构中含有利于植物生长的营养成分, 如腐植酸和稀

收稿日期: 2023-01-07 修回日期: 2023-10-27

基金项目: 甘肃省重点研发计划-农业类(21YF5NE199); 甘肃省科技计划项目自然科学基金(22JR11RE195); 甘肃省教育厅产业支撑计划项目(2021CYZC-16); 甘肃省重点研发计划-农业类(20YF8NA051); 甘肃省天水市科技局应用基础研究(2020-NCK-3350); “三区人才”科技人才项目-提质增效与高值化利用团队, 天水市秦州区科技支撑计划项目(2022-NCKJG-9924); 天水师范学院高级别预研项目(GJB2021-06)

作者简介: 安小娟(1989-), 女, 甘肃天水人。副教授, 主要从事果园生态和果树生理研究。E-mail: anxj0301@163.com

通信作者: 呼丽萍(1962-), 女, 甘肃天水人。教授, 主要从事果树栽培技术研究。E-mail: tshuliping@163.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

土元素等。保水剂用量主要影响了土壤中含水率, 过少或者过多的施用反而会造成土壤水分过多或者过少^[13]。有研究^[14-16]表明, 保水剂能促进植物的萌发、生长发育以及提高产量, 它能够改善土壤结构, 促进团粒的形成。臧小平等^[17]研究表明, 滴灌减施化肥条件下, 施保水剂可显著提高香蕉产量和经济效益。但关于抗旱埴土剂对雨养区苹果园土壤理化性质和果实品质的影响研究报道较少。【拟解决的关键问题】因此, 本研究采用交联聚丙烯酰胺抗旱埴土剂, 通过探究抗旱埴土剂用量对土壤理化性质及果实品质的影响, 以期确定适合半干旱及干旱地区果园施用抗旱埴土剂的用量, 为促进旱地果园高效用水和改善果树生长环境提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在甘肃省大樱桃技术创新中心试验基地进行, 试验地位于甘肃省天水市麦积区石佛镇, 东经 105.67°, 北纬 34.73°, 海拔 1 327 m。该地气候比较干燥, 年平均降水量 500 mm, 年最高气温 38 °C, 最低气温 -17 °C, 无霜期 185 d, 供试土壤为黄绵土, 试验地土壤理化性质: 有机质量 13.29 g/kg、全氮量 0.86 g/kg、全磷量 0.75 g/kg、全钾量 22.45 g/kg、碱解氮量 78.32 mg/kg、速效磷量 21.83 mg/kg、速效钾量 166.33 mg/kg、pH 值为 8.52。

1.2 试验材料

供试抗旱埴土剂是由北京汉力森新技术有限公司生产的主要成分为交联聚丙烯酰胺(丙烯酰胺-丙烯酸钾共聚物, 英文名 CL-PAM-K, 简称 CLP)的抗旱埴土剂。供试材料为“花牛”苹果, 品种为“俄矮二号”。

1.3 试验设计

试验于 2018 年 10 月开始, 采用大田试验。于苹果植株一侧枝条边缘距主干 120 cm 处开沟, 深为 40 cm, 宽为 20 cm。将抗旱埴土剂与表面熟土混合均匀后一次性施入沟中, 然后进行回填。试验设置的抗旱埴土剂施用量为株施 150、250、350 g/株, 分别用 T1、T2、T3 表示, 以不施抗旱埴土剂为对照(CK)。每个处理 4 株, 重复 4 次, 4 个处理共 64 株。

1.4 样品采集与测定

土样采集和理化性状测定: 分别于萌芽期(2019 年 3 月 16 日)和成熟期(2019 年 9 月 18 日)采集土样, 采用 5 点取样法, 采集点距树干 100 cm 随机选点, 采集 0~20、20~40、40~60 cm 土层的土样, 并将同一处理的同一土层土样混和均匀, 分装好带回实验室, 先测定土壤质量含水率, 其余风干研磨后过

0.15、1.00、2.00 mm 筛, 封装好于后期土壤养分的测定。土壤含水率采用烘干法测定; 土壤 pH 值和土壤电导率采用 METTLER TOLEDO S220 多参数测定仪测定^[18]; 土壤速效氮、磷、钾和有机质量分别采用碱解法、钼锑抗比色法、火焰分光光度法和重铬酸钾容量法测定^[19]。

果样的采集和品质测定: 于果实成熟期(2019 年 9 月 22 日)进行采样, 每个试验处理分别选取 3 棵果树(树龄、树势一致), 并随机摘取大小一致的果实, 每个处理共 30 颗苹果, 带回实验室进行果实品质的测定。各指标测定方法如下: 使用电子秤(0.01 g)称量果实单果质量; 使用游标卡尺测量果实纵径; 使用 TA.XT plus 英国 Stable Micro Systems 质构仪测定果实硬度; 使用 PAL-1 日本 ATAGO 手持糖度计测定可溶性固形物和可滴定酸^[20]; 采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[21]测定还原糖; 采用紫外分光光度法^[22]测定可溶性蛋白; 采用福林酚法^[23]测定总酚量。

1.5 数据处理

利用隶属函数统计学分析法^[21], 评定各指标的隶属函数值 $U(X_i)$, 使用公式:

$$U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), \quad (1)$$

如果该项指标在相关性分析中与综合分析结果呈负相关关系, 则对其进行反隶属函数转换, 使用公式:

$$U(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), \quad (2)$$

式中: $U(X_i)$ 为某处理某一指标的隶属函数值, 且 X_i 为某一指标的测定值; $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 为所有处理中某一指标的最小值和最大值。

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 19.0 进行数据处理分析和作图。

2 结果与分析

2.1 不同剂量抗旱埴土剂对土壤理化性质的影响

2.1.1 不同剂量抗旱埴土剂对土壤含水率的影响

图 1 为不同剂量抗旱埴土剂对土壤含水率的影响。由图 1(a)可知, 0~20 cm 土层中, T1 处理和 T2 处理含水率较 CK 分别增加了 13.01% 和 9.38%, 差异显著 ($P < 0.05$); 在 20~40 cm 土层中, 各处理含水率较 CK 分别增加了 10.92%、2.18%、5.46%, 差异显著 ($P < 0.05$); 在 40~60 cm 土层中, T2 处理和 T3 处理含水率较 CK 分别增加了 3.81% 和 6.05%。同时, 土壤含水率随土层深度的增加而降低。

由图 1(b)可知, 在 0~20 cm 土层中, T3 处理的土壤含水率较 CK 增加了 8.01%, 差异显著 ($P < 0.05$); 在 20~40 cm 土层中, T1 处理土壤含水率较 CK 增加了 7.26%, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 在 40~60 cm 土层中, 各处理土壤含水率均高于 CK,

且分别增加了 39.12%、19.25%、22.38%，差异显著（ $P<0.05$ ）。综合来看，T1 处理对土壤含水率的影响较显著。这反映出抗旱埴土剂用量过大时并不利于抗旱节水。

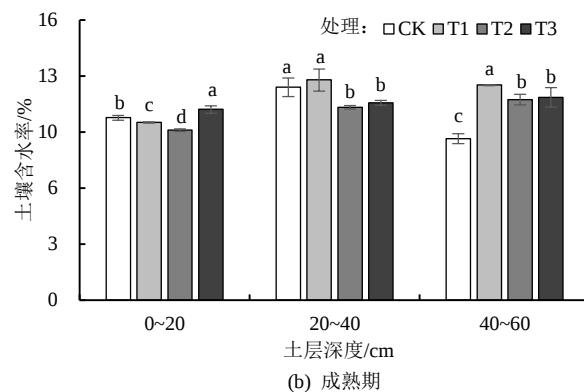
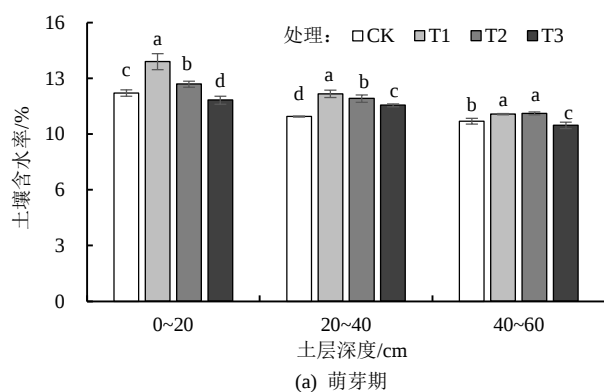


图 1 不同剂量抗旱埴土剂对土壤含水率影响

Fig.1 Effect of different dosage of super absorbent polymers on soil moisture

2.1.2 不同剂量抗旱埴土剂对土壤 pH 值影响

图 2 为不同剂量抗旱埴土剂对土壤 pH 值影响，由 2 (a) 可知，在 0~20 cm 土层中，各处理土壤 pH 值均低于 CK，且分别降低了 0.23%、0.46%、1.85%，其中 T3 处理差异显著（ $P<0.05$ ）；在 20~40 cm 和 40~60 cm 的土层中，各处理的土壤 pH 值均高于 CK，无差异显著（ $P>0.05$ ）。

图 2 (b) 可知，在 0~20 cm 土层中，各处理土壤

pH 值较 CK 分别降低 3.43%、1.14%、2.51%，差异显著（ $P<0.05$ ）；在 20~40 cm 土层中，T1 处理土壤 pH 值较 CK 降低了 1.38%，差异显著（ $P<0.05$ ），T2 处理土壤 pH 值较 CK 升高了 1.48%，差异显著（ $P<0.05$ ）；在 40~60 cm 土层中，各处理土壤 pH 值较 CK 分别降低了 0.23%、0.34%、1.81%，其中 T3 处理差异显著（ $P<0.05$ ）。

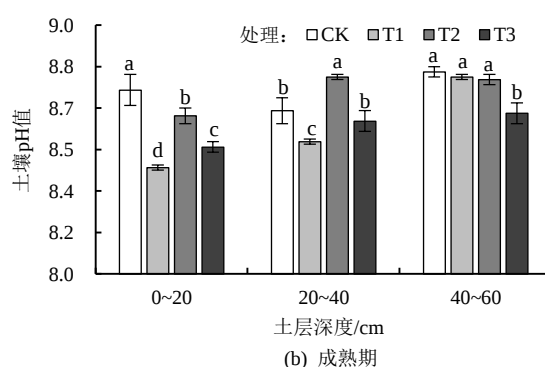
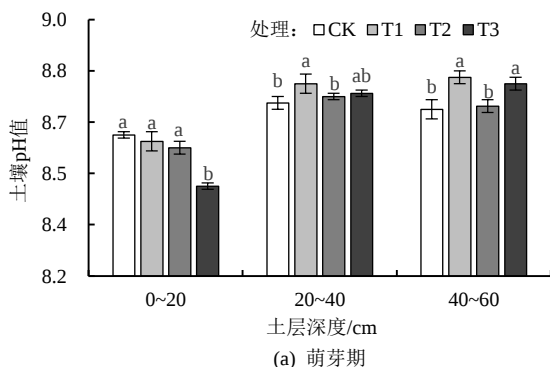


图 2 不同剂量抗旱埴土剂对土壤 pH 值的影响

Fig.2 Effect of different dosage of super absorbent polymers on soil pH

2.1.3 不同剂量抗旱埴土剂对土壤电导率影响

图 3 为不同剂量抗旱埴土剂对土壤电导率影响，由图 3 (a) 可知，在 0~20、20~40、40~60 cm 土层

中，萌芽期 T1 处理土壤电导率较 CK 分别显著降低 5.70%、10.82%、19.64%（ $P<0.05$ ）。在 20~40 cm 土层中，T3 处理较 CK 显著降低了 0.27%（ $P<0.05$ ）。

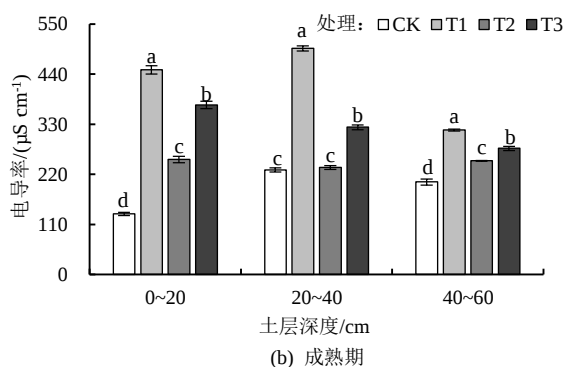
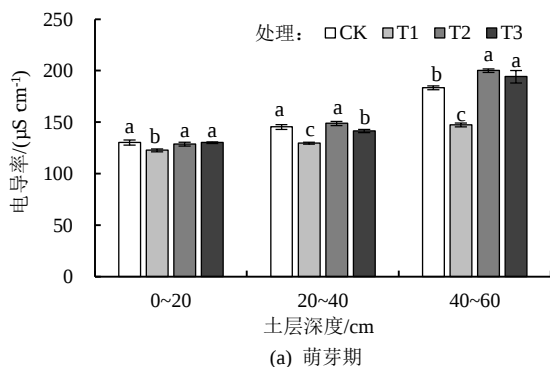


图 3 不同剂量抗旱埴土剂对土壤电导率影响

Fig.3 Effect of different dosage of super absorbent polymers on soil soluble salt

由图 3 (b) 可知，同一土层中，各处理土壤电导率均高于 CK。在 0~20 cm 土层中，T1、T2、T3

处理较 CK 土壤电导率显著增加了 237.64%、90.04%、179.66%（ $P<0.05$ ）。在 20~40 cm 土层中，T1 处理

和 T3 处理较 CK 土壤电导率显著增加了 116.34% 和 40.88% ($P<0.05$)。在 40~60 cm 土层中, T1、T2、T3 处理较 CK 土壤电导率显著增加了 56.20%、23.04%、36.42% ($P<0.05$)。

2.1.4 不同剂量抗旱埧土剂对土壤有机质量影响

图 4 为不同剂量抗旱埧土剂对土壤有机质量的影响。由图 4 (a) 可知, 在 0~20 cm 土层中, T1、T2、T3 处理土壤有机质量较 CK 显著降低了 11.69%、9.35%、9.74% ($P<0.05$)；在 20~40 cm 土层中, T1 处理和 T3 处理土壤有机质量较 CK 显著降低 13.32%

和 9.95% ($P<0.05$)，在 40~60 cm 土层中, T1 处理和 T3 处理土壤有机质量较 CK 显著降低了 22.12% 和 19.41% ($P<0.05$)。随着土层深度增加各处理土壤有机质量越来越低。

由图 4 (b) 可知, 在 0~20 cm 土层中, T1、T2、T3 处理土壤有机质量低于 CK；在 20~40 cm 土层中, T3 处理土壤有机质量高于 CK, T2 处理土壤有机质量低于 CK；在 40~60 cm 土层中, T1 处理显著降低了土壤有机质量 ($P<0.05$)，T3 处理显著增加了土壤有机质量 ($P<0.05$)。

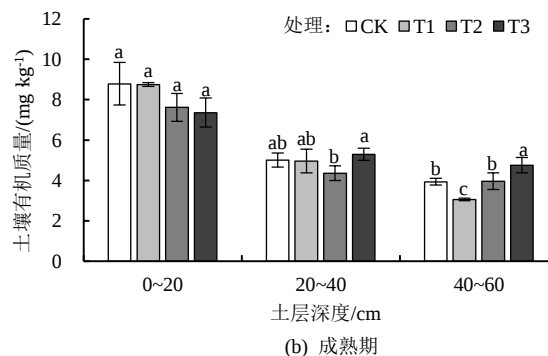
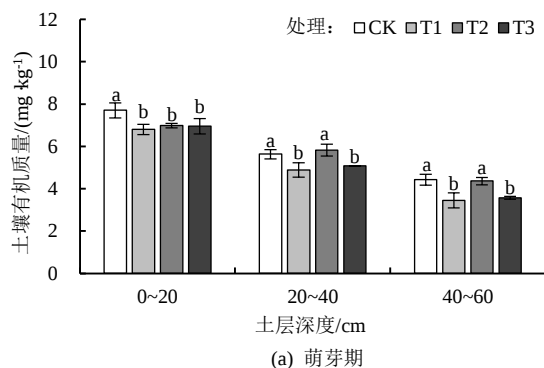


图 4 不同剂量抗旱埧土剂对土壤有机质量影响

Fig.4 Effect of different dosage of super absorbent polymers on soil organic matter

2.1.5 不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效氮量影响

图 5 为不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效氮量的影响。由图 5 (a) 可知, 在 0~20 cm 土层中, T1、T2、T3 处理土壤速效氮量较 CK 显著增加了 43.07%、23.55%、21.67% ($P<0.05$)；在 20~40 cm 土层中, T2 处理和 T3 处理土壤速效氮量较 CK 显著增加了 11.57% 和 23.52% ($P<0.05$)，在 40~60 cm 土层中, T1、T2、T3 处理土壤速效氮量较 CK 显著增加了

34.34%、22.84%、20.83% ($P<0.05$)。

由图 5 (b) 可知, 在 0~20 cm 土层中, T1、T2、T3 处理土壤速效氮量较 CK 显著增加了 44.59%、26.46%、28.75% ($P<0.05$)；在 20~40 cm 土层中, T1 处理土壤速效氮量较 CK 显著增加了 6.32% ($P<0.05$)，在 40~60 cm 土层中, T1 处理土壤速效氮量较 CK 显著增加了 15.38% ($P<0.05$)。

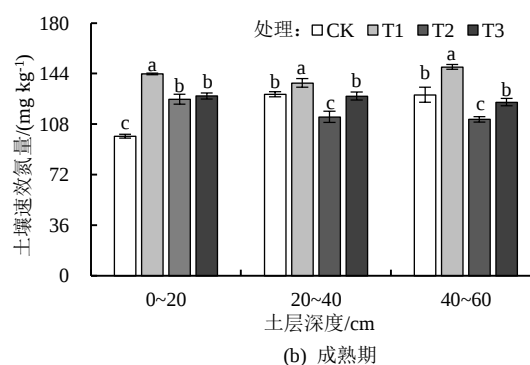
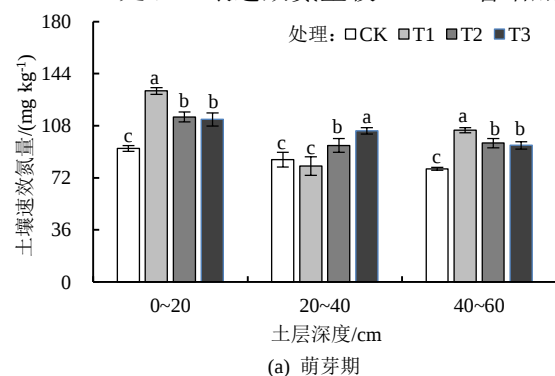


图 5 不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效氮量影响

Fig.5 Effect of different dosage of super absorbent polymers on soil available nitrogen

2.1.6 不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效磷量影响

图 6 为不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效磷量的影响。由图 6 (a) 可知, 在 0~20、20~40、40~60 cm 土层中, T3 处理土壤速效磷量较 CK 分别显著增加了 27.34%、29.70%、31.89% ($P<0.05$)。T1 处理和

T2 处理与 CK 无显著差异。

由图 6 (b) 可知, 在 0~20、20~40、40~60 cm 土层中, T3 处理土壤速效磷量较 CK 分别显著增加了 11.52%、15.08%、21.64% ($P<0.05$)。T1 处理和 T2 处理与 CK 无显著差异。

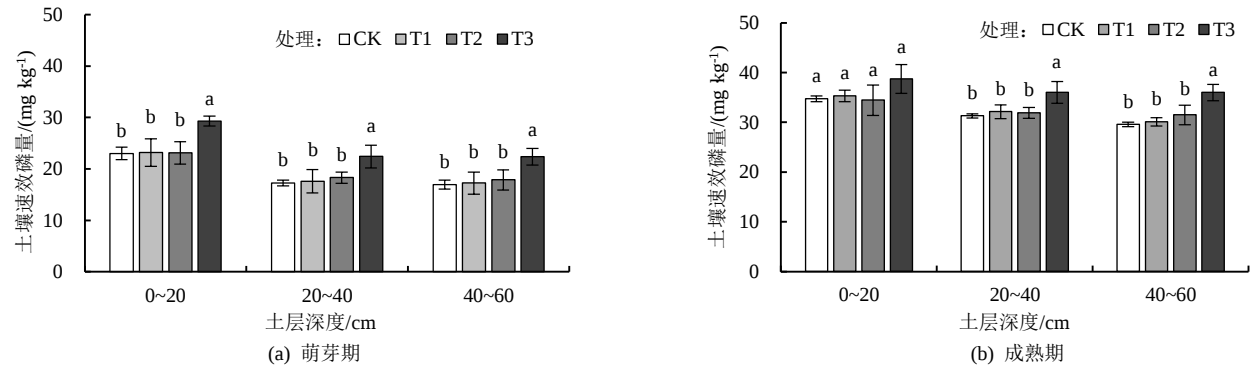


图 6 不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效磷量影响

Fig.6 Effect of different dosage of super absorbent polymers on soil available phosphorus

2.1.7 不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效钾量影响

图 7 为不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效钾量的影响。由图 7 (a) 可知，在 0~20 cm 土层中，T2 处理和 T3 处理土壤速效钾量较 CK 显著增加了 25.21% 和 24.92% ($P<0.05$)；在 20~40 cm 土层中，T1 处理和 T2 处理土壤速效钾量较 CK 显著降低了 11.17% 和 7.17% ($P<0.05$)，在 40~60 cm 土层中，T2 处理土壤速效钾量较 CK 显著增加了 25.85% ($P<0.05$)。

由图 7 (b) 可知，在 0~20 cm 土层中，T1、T2、T3 处理土壤速效钾量较 CK 显著降低了 41.13%、23.64%、29.86% ($P<0.05$)；在 20~40 cm 土层中，T1、T2、T3 处理土壤速效钾量较 CK 显著降低了 9.75%、20.38%、3.55% ($P<0.05$)，在 40~60 cm 土层中，T1 处理和 T2 处理土壤速效钾量较 CK 显著降低了 12.30% 和 15.16% ($P<0.05$)。

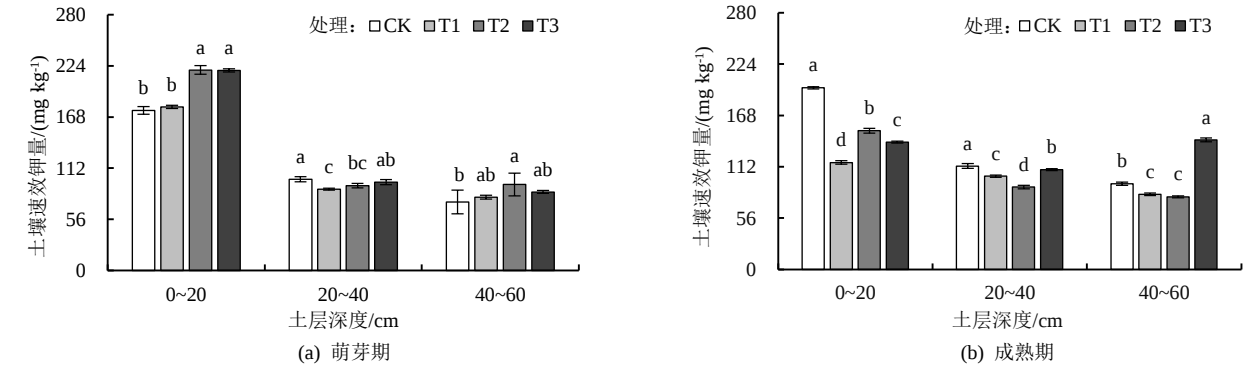


图 7 不同剂量抗旱埧土剂对土壤速效钾量的影响

Fig.7 Effect of different dosage of super absorbent polymers on soil available potassium

2.2 不同剂量抗旱埧土剂对果实品质的影响

由表 1 可知，T2 处理果实可溶性蛋白量较 CK 显著增加了 41.61% ($P<0.05$)；T1 处理和 T2 处理果实总酚量较 CK 显著增加了 40.80% 和 45.99%

($P<0.05$)；各处理的单果质量、纵横径、可溶性固形物、可滴定酸、硬度、糖酸比和还原糖与 CK 无显著差异 ($P>0.05$)。

表 1 不同剂量保水剂对苹果果实品质的影响

Tab.1 Effect of different dosage of super absorbent polymers on apple fruit quality

指标	CK	T1	T2	T3
单果质量/g	214.91±17.57a	230.23±43.05a	219.67±32.91a	214.63±26.84a
硬度/N	4.42±0.45ab	4.95±0.30a	4.83±0.29ab	3.93±0.22b
横径/mm	74.65±4.02a	78.12±6.48a	75.80±2.45a	76.06±3.41a
纵径/mm	72.49±0.54a	74.47±2.02a	71.88±2.27a	71.43±5.70a
可溶性固形物/%	8.97±0.43a	7.88±0.60a	8.58±0.58a	7.70±0.48a
可滴定酸/%	1.56±0.27a	1.51±0.42a	1.22±0.24a	1.19±0.05a
糖酸比	5.94±1.20ab	5.78±1.27ab	7.45±1.51a	6.42±0.23b
可溶性蛋白/%	12.57±1.17b	15.78±1.77ab	17.80±3.85a	15.41±2.39ab
还原糖/%	6.64±0.51a	6.04±0.55a	6.12±0.72a	6.85±0.31a
总酚/(mg 100g ⁻¹)	4.24±0.98b	5.97±0.78a	6.19±0.75a	2.55±0.21c

2.3 土壤指标与果实品质之间的相关性分析

表 2 为萌芽期土壤指标与果实品质之间的相关性分析。由表 2 可知，在 0~20 cm 和 40~60 cm 土层

中，土壤含水率和果实硬度、总酚显著正相关 ($P<0.01$)，在 0~20 cm 土层中，土壤 pH 值和果实总酚显著正相关 ($P<0.01$)。在 20~40 cm 和 40~60 cm

土层中, 土壤有机质与可溶性固形物显著正相关 ($P<0.01$)。在 40~60 cm 的土层中, 土壤速效钾和糖酸比显著正相关 ($P<0.01$)。综合来看, 0~20 cm 和 40~60 cm 土层中, 土壤含水率的增加有利于提高果实硬度和总酚量; 在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层中, 土壤有机质的增加有利于提高果实可溶性固形物量; 在 40~60 cm 土层土壤中, 土壤速效钾量的增加有利于提高果实口感。

表 3 为成熟期土壤指标与果实品质之间的相关

表 2 萌芽期土壤指标与果实品质之间的相关性分析

Tab.2 The correlation analysis between the soil index and fruit quality in budding stage

指标	土层深度/cm	单果质量	硬度	横径	纵径	可溶性固形物	可滴定酸	糖酸比	可溶性蛋白	还原糖	总酚
土壤 含水率	0~20	0.274	0.722**	0.369	0.309	-0.097	0.291	-0.165	0.219	-0.558	0.729**
	20~40	0.27	0.425	0.241	0.337	-0.396	-0.195	0.217	0.522	-0.359	0.513
	40~60	0.228	0.815**	0.294	0.123	0.087	0.105	0.148	0.383	-0.574	0.918**
土壤 pH 值	0~20	-0.051	0.666*	0.144	-0.157	0.532	0.578*	-0.186	-0.27	-0.288	0.721**
	20~40	0.411	0.031	0.251	.589*	-0.428	-0.334	0.120	0.444	-0.292	0.013
	40~60	-0.037	0.072	0.023	0.098	-0.663*	0.164	-0.463	0.135	-0.116	-0.009
土壤 电导率	0~20	-0.272	-0.620*	-0.337	-0.297	0.386	-0.403	0.391	-0.186	0.398	-0.600*
	20~40	-0.208	-0.133	-0.285	-0.334	0.423	-0.178	0.283	0.048	0.091	-0.082
	40~60	-0.234	-0.435	-0.475	-0.273	0.293	-0.38	0.412	0.151	0.299	-0.324
土壤 有机质	0~20	-0.262	-0.006	-0.337	-0.418	0.38	0.376	-0.257	-0.629*	0.148	-0.081
	20~40	-0.094	-0.035	-0.168	-0.148	0.822**	-0.031	0.433	-0.036	0.137	0.171
	40~60	-0.026	0.083	-0.118	-0.16	0.725**	-0.159	0.364	0.045	-0.200	0.121
土壤 速效氮	0~20	0.175	0.383	0.124	0.328	-0.511	-0.104	-0.025	0.507	-0.422	0.398
	20~40	0.007	-0.638*	-0.255	0.094	-0.115	-0.449	0.292	0.205	0.400	-0.525
	40~60	0.084	0.408	0.165	0.249	-0.553	-0.106	-0.031	0.471	-0.421	0.398
土壤 速效磷	0~20	0.083	-0.707*	-0.130	0.099	-0.303	-0.35	0.155	-0.084	0.511	-0.683*
	20~40	0.138	-0.588*	-0.090	0.219	-0.364	-0.432	0.233	-0.058	0.358	-0.632*
	40~60	0.132	-0.619*	-0.260	0.215	-0.375	-0.442	0.134	0.260	0.270	-0.637*
土壤 速效钾	0~20	-0.087	-0.328	-0.317	-0.019	-0.197	-0.588*	0.503	0.424	0.172	-0.213
	20~40	-0.215	-0.504	-0.425	-0.266	0.388	0.151	-0.193	-0.307	0.382	-0.506
	40~60	0.143	-0.240	-0.003	0.151	-0.048	-0.708*	0.854**	0.356	0.233	-0.071

注 *表示显著相关 ($P<0.05$), **表示极显著相关 ($P<0.05$), 下同。

表 3 成熟期土壤指标与果实品质之间的相关性分析

Tab.3 The correlation analysis between the soil index and fruit quality in mature stage

指标	土层 深度/cm	单果 质量	硬度	横径	纵径	可溶性 固形物	可滴定酸	糖酸比	可溶性 蛋白	还原糖	总酚
土壤含水率	0~20	-0.054	-0.701*	-0.032	-0.055	-0.343	-0.019	-0.319	-0.283	0.501	-0.826**
	20~40	-0.062	0.227	0.184	0.037	-0.050	0.420	-0.425	-0.379	-0.095	0.122
	40~60	-0.150	0.268	0.119	0.263	-0.649*	-0.232	0.025	0.567	-0.347	0.264
土壤 pH 值	0~20	-0.119	-0.068	-0.208	-0.286	0.716**	0.177	0.094	-0.330	0.175	0.016
	20~40	-0.133	-0.031	-0.325	-0.181	0.524	-0.330	0.585*	0.367	0.036	0.179
	40~60	0.129	0.635*	0.246	0.048	0.513	0.348	0.027	-0.172	-0.376	0.656*
土壤电导率	0~20	0.180	0.088	0.176	0.326	-0.714**	-0.154	-0.100	0.338	-0.175	0.045
	20~40	0.203	0.265	0.329	0.324	-0.543	0.156	-0.309	0.090	-0.234	0.188
	40~60	0.194	0.216	0.250	0.318	-0.683*	-0.140	-0.073	.351	-0.271	0.163
土壤有机质	0~20	-0.021	0.484	0.136	-0.148	0.214	0.685*	-0.628*	-0.210	-0.323	0.440
	20~40	0.522	-0.673*	0.384	0.602*	-0.227	-0.119	-0.040	-0.150	0.507	-0.691*
	40~60	-0.192	-0.675*	-0.258	-0.132	-0.029	-0.273	0.041	0.111	0.414	-0.656*
土壤速效氮	0~20	0.154	0.317	0.179	0.317	-0.612*	-0.155	-0.027	0.488	-0.375	0.300
	20~40	0.003	0.020	0.300	0.061	-0.281	0.470	-0.645*	-0.294	0.006	-0.141
	40~60	0.094	0.196	0.283	0.221	-0.200	0.440	-0.491	-0.244	-0.105	0.110
土壤速效磷	0~20	-0.288	-0.331	-0.316	0.004	-0.170	-0.098	-0.211	-0.115	-0.033	-0.472
	20~40	0.119	-0.618*	-0.090	0.274	-0.453	-0.447	0.196	-0.085	0.366	-0.679*
	40~60	-0.025	-0.609*	-0.353	0.085	-0.443	-0.481	0.158	0.299	0.293	-0.625*
土壤速效钾	0~20	-0.206	-0.199	-0.184	-0.334	0.668*	0.204	-0.017	-0.459	0.247	-0.198
	20~40	-0.143	-0.543	-0.037	-0.104	-0.010	0.249	-0.438	-0.568	0.436	-0.699*
	40~60	-0.151	-0.782**	-0.222	-0.060	-0.415	-0.302	-0.060	-0.144	0.506	-0.881**

表 4 不同剂量抗旱埴土剂对土壤理化性状及果实品质的隶属函数值影响

Tab.4 Effect of different dosage of super absorbent polymers on soil physicochemical properties and fruit quality subordinate function values

指标	土层深度/cm	CK	T1	T2	T3
土壤 含水率	0~20	0.19	1.00	0.42	0.00
	20~40	0.00	1.00	0.79	0.49
	40~60	0.35	0.95	1.00	0.00
土壤 pH 值	0~20	1.00	0.88	0.78	0.00
	20~40	0.00	1.00	0.24	0.47
	40~60	0.00	1.00	0.10	0.77
土壤 电导率	0~20	1.00	0.00	0.82	1.00
	20~40	0.82	0.00	1.00	0.62
	40~60	0.68	0.00	1.00	0.89
土壤 有机质	0~20	1.00	0.00	0.21	0.17
	20~40	0.80	0.00	1.00	0.20
	40~60	1.00	0.00	0.92	0.12
土壤 速效氮	0~20	0.00	1.00	0.55	0.50
	20~40	0.18	0.00	0.58	1.00
	40~60	0.00	1.00	0.67	0.61
土壤 速效磷	0~20	0.00	0.03	0.01	1.00
	20~40	0.00	0.06	0.20	1.00
	40~60	0.00	0.05	0.17	1.00
土壤 速效钾	0~20	0.00	0.09	1.00	0.99
	20~40	1.00	0.00	0.36	0.72
	40~60	0.00	0.28	1.00	0.58
萌芽期土壤隶属函数值 $U(X_i)$		0.382a	0.396a	0.610a	<u>0.577a</u>
排序		4	3	1	2
土壤 含水率	0~20	0.596	0.372	0.000	1.000
	20~40	0.734	1.000	0.000	0.168
	40~60	0.000	1.000	0.729	0.789
土壤 pH 值	0~20	1.000	0.000	0.669	0.253
	20~40	0.450	0.000	1.000	0.298
	40~60	1.000	0.896	0.865	0.000
土壤 电导率	0~20	0.000	1.000	0.379	0.756
	20~40	0.000	1.000	0.020	0.351
	40~60	0.000	1.000	0.410	0.648
土壤 有机质	0~20	1.000	0.974	0.184	0.000
	20~40	0.700	0.640	0.000	1.000
	40~60	0.522	0.000	0.533	1.000
土壤 速效氮	0~20	0.000	1.000	0.593	0.645
	20~40	0.663	1.000	0.000	0.615
	40~60	0.469	1.000	0.000	0.328
土壤 速效磷	0~20	0.061	0.197	0.000	1.000
	20~40	0.000	0.173	0.130	1.000
	40~60	0.000	0.081	0.301	1.000
土壤 速效钾	0~20	1.000	0.000	0.425	0.274
	20~40	1.000	0.522	0.000	0.826
	40~60	0.228	0.043	0.000	1.000
成熟期土壤隶属函数值 $U(X_i)$		0.449ab	0.566a	0.297b	<u>0.617a</u>
排序		3	2	4	1
单果质量		0.018	1.000	0.323	0.000
纵径		0.348	1.000	0.148	0.000
横径		0.000	1.000	0.330	0.405
硬度		0.480	1.000	0.886	0.000
可溶性固形物		1.000	0.145	0.697	0.000
可滴定酸		1.000	0.850	0.093	0.000
糖酸比		0.095	0.000	1.000	0.379
可溶性蛋白		0.000	0.615	1.000	0.544
还原糖		0.736	0.000	0.094	1.000
总酚		0.465	0.940	1.000	0.000
品质隶属函数值 $U(X_i)$		0.414ab	<u>0.655a</u>	0.557ab	0.233b
排序		3	1	2	4
综合隶属函数值 $U(X_i)$		0.415a	<u>0.515a</u>	0.474a	<u>0.527a</u>
排序		4	2	3	1

2.4 抗旱埴土剂对土壤盐碱性及果实品质的隶属函数分析

表 4 为不同剂量抗旱埴土剂对土壤理化性状及果实品质的隶属函数值影响。由表 4 可知，采用萌芽期土壤理化性质的隶属函数值的平均值综合评定可得，T2 处理的综合隶属函数值最大，即 250 g/株的抗旱埴土剂施用量效果最优；采用成熟期土壤理化性质的隶属函数值的平均值综合评定可得，T3 处理的综合隶属函数值最大，即 350g/株的抗旱埴土剂施用量效果最优；采用果实品质的隶属函数值的平均值予以综合评定得出，T1 处理的综合隶属函数值最大，即 150 g/株的抗旱埴土剂施用量在提高果实品质方面效果比较好；采用各指标的隶属函数值的平均值综合评定可知，T3 处理的综合隶属函数值 $U(X_i)$ 最大，说明对于改善土壤理化性质和提高果实品质而言，T3 处理（150 g/株）是最优处理。

3 讨论

土壤水分在果树生长发育过程中起着重要作用，影响苹果树生长代谢的各个方面^[24]。本研究表明，T1 处理（150 g/株）的抗旱埴土剂施用量对于提高土壤含水率的效果最佳，说明适当剂量的保水剂可以提高土壤的含水率，但土壤含水率并不随保水剂用量的增加而增加。皇甫红芳等^[25]研究表明，保水剂在反复吸水的过程中，自身可形成吸水动力。从而会引起土壤结构改变，使土壤变得疏松，土壤水分流失。保水剂吸水释水过程在土壤中反复发生，保水剂的用量很大程度决定了土壤含水率；潘泉等^[26]研究表明，保水剂施用质量分数为 1‰时，水分利用效率达到最高。本试验发现，在 40~60 cm 土层处，T2 处理显著提高了土壤含水率，这主要是因为保水剂自身具有三维网状结构，分子结构中大量羧基、酰胺基等亲水基团能够与水分子结合形成氢键，起到吸附水分的作用。然而，T1 处理和 T3 处理虽稍低于 CK，表明过量施用保水剂反而降低土壤含水率，容易导致土壤板结，不利水分的积累。白岗栓等^[7]研究进一步证实，将土壤与保水剂按合适的比例混合能更显著的提高土壤含水率。

土壤酸碱性是土壤的重要化学性质，也是土壤的基本属性之一，其不仅影响土壤的肥力，还影响土壤养分及有害物质的产生，进而影响植物的生长发育及产量^[27]。通过施用不同剂量的保水剂对土壤 pH 值的影响的研究表明，T1 处理对土壤 pH 值的影响较为显著，但土壤 pH 值并不随保水剂剂量的增加而降低。王鼎等^[28]研究表明，适当剂量的保水剂与复合调理剂混施，可以显著降低土壤的 pH 值，这与本研究结果一致。土壤盐化是干旱半干旱地区农业生产的主要限

制因子^[23]。本研究表明, T1 处理对于降低土壤电导率效果较为显著。保水剂在降低土壤盐度方面效果不太明显^[29]。对于保水剂单施改善土壤盐度的研究较少, 需要再做进一步研究。

有机质对改善土壤理化性状有重要作用, 是评价土壤肥力的重要指标。氮是苹果生长发育所必需的矿质营养元素, 是苹果生长的重要物质基础; 磷是苹果生长发育、产量和品质形成的物质基础, 也是评价土壤质量的重要指标之一; 钾是苹果必需的大量元素之一, 尤其在改善苹果品质和质量方面起着重要作用, 被称为“品质元素”^[30]。本研究发现, 施用保水剂后各处理各土层速效氮和速效磷量随土层深度增加呈先降后增的趋势, 其量变化差异不显著, 主要是因为研究区域处于干旱半干旱区, 缺水使得土壤含水率较低, 进而对土壤酶、土壤微生物等微环境影响微弱, 因此, 对土壤速效氮和速效磷量影响不显著。

在有机质量和速效钾量方面表现出不同的结果, 甚至低于 CK, 这可能是保水剂促进植物生长, 加快了养分从土壤到植物的转移速率, 从而降低了土壤养分; 也可能是保水剂有吸肥、保肥的功效, 保水剂将土壤中的养分吸收到自己体内, 从而降低了土壤养分量。土壤养分量变化差异可能与不同土壤保水措施处理后造成的土壤水分、温度、微生物数量、土壤酶活性和根系生长等具体状况不同有关。陈修淼等^[31]研究表明, 保水剂能够促进苹果果实品质的提高, 从而提高果实的质量和经济效益, 明显增加了果树养料的输送, 增加了氮源的利用效率, 与本试验结果相一致, 说明合理使用保水剂的用量可以有效地影响土壤养分量。

果实品质的好坏直接影响果农的经济效益。果实的单果重、纵横径、可溶性固形物及可滴定酸等指标能够反映出果实的基础外观品质, 而且果实硬度与果实的腐烂速度有关, 决定了果实的耐贮存性, 是评估苹果商品性状的重要指标之一^[24]。本试验中, 果实单果重、纵横径、可溶性固形物及可滴定酸含量随保水剂施用量的增加并无显著变化, 但 T1 处理和 T3 处理对果实硬度的影响较为显著, 且 T1 处理可以更有效地提高果实硬度。高安妮等^[32]研究表明, 保水剂和秸秆覆盖处理均可以不同程度地提高果实硬度; 宫丽丹等^[33]研究表明, 施用保水剂后, 单果质量和纵横径与对照无明显差异, 这些均与本试验结果一致。也有研究表明, 保水剂可以提高果实可溶性固形物, 降低果实可滴定酸量^[34], 但本试验中保水剂对果实可溶性固形物及可滴定酸量无显著影响, 这有可能是因为保水剂对环境及果实部分品质的影响需要一定的时间, 而

本试验持续时间较短, 所以保水剂对果实部分品质的影响还未显现出来。

需要说明的是, 单纯利用平均隶属函数值对于某一指标比较突出的优异对象有时可能会出现偏颇^[35]。比如本试验就萌芽期土壤理化性质而言, T2 处理效果最佳; 就成熟期土壤理化性质而言, T3 处理效果最佳; 就果实品质而言, T1 处理效果最佳。由此可见, 仅对部分指标进行评价可能会导致评价失真。因此, 隶属函数值分析法在实践中应根据实际评价目的灵活应用。

4 结 论

1) 250 g/株的抗旱埴土剂施用量提高了萌芽期 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤含水率和土壤速效氮量, 增加了 0~20 cm 和 40~60 cm 土层速效钾量, 350 g/株的抗旱埴土剂施用量提高了萌芽期和成熟期 0~20、20~40、40~60 cm 土层速效磷量, 改善了土壤质量。

2) 250 g/株的抗旱埴土剂施用量增加了苹果果实可溶性蛋白和总酚量, 提高了果实品质。

3) 350 g/株的抗旱埴土剂施用量为改善旱地苹果园土壤理化性质和提高果实品质的最佳保水剂施用量。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] KASHYAP D, AGARWAL T. Climate change, water resources, and agriculture: Impacts and adaptation measures[M]// VENKATRAMANAN V, SHAH S, PRASAD R. Global Climate Change and Environmental Policy. Singapore: Springer, 2020: 227-256.
- [2] 耿庆玲. 西北旱区农业水土资源利用分区及其匹配特征研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2014. GENG Qingling. Research on zoning of agricultural water and land resources utilization and their matching characteristics in arid areas of northwest of China[D]. Beijing: Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, 2014.
- [3] WEN X X, ZHANG D Q, LIAO Y C, et al. Effects of water-collecting and-retaining techniques on photosynthetic rates, yield, and water use efficiency of millet grown in a semiarid region[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(7): 1 119-1 128.
- [4] 董成武, 张叶子, 石岩. 新型复合保水剂对干旱胁迫下小麦幼苗生长和生理特性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(6): 255-261. DONG Chengwu, ZHANG Yezi, SHI Yan. Effects of new composite water-retaining agent on growth and physiological characteristics of wheat seedlings under drought stress[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021(6): 255-261.
- [5] YANG Y H, WU J C, ZHAO S W, et al. Effects of long-term super absorbent polymer and organic manure on soil structure and organic carbon distribution in different soil layers[J]. Soil and Tillage Research, 2021, 206: 104 781.
- [6] CHANG L Y, XU L J, LIU Y H, et al. Superabsorbent polymers used for agricultural water retention[J]. Polymer Testing, 2021, 94: 107 021.
- [7] 白岗桂, 耿伟, 何登峰. 保水剂施用量对秦巴山区土壤特性及烤烟生长的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(3): 343-354.

- BAI Gangshuan, GENG Wei, HE Dengfeng. Effects of super absorbent polymer with different application rates on soil characteristics and flue-cured tobacco growth in Qinba mountain area[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2019, 45(3): 343-354.
- [8] 刘伟, 钟奇, 罗玲. 不同灌溉量配施保水剂对芒果园土壤水分及果实的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(10): 2 378-2 382.
- LIU Wei, ZHONG Qi, LUO Ling. Effects of different irrigation volume co-applied with super absorbent polymers on soil moisture and fruit of mango orchards[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(10): 2 378-2 382.
- [9] 荣俊冬, 凡莉莉, 陈礼光, 等. 保水剂与氮肥对麻竹抗性生理特性的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(3): 460-467.
- RONG Jundong, FAN Lili, CHEN Liguang, et al. Effects of super absorbent polymers (SAP) and nitrogen fertilizer mixture on resistance physiology indexes of dendrocalamus latiflorus[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(3): 460-467.
- [10] 夏茂林, 李洪臣, 赵华新, 等. 不同粒径保水剂对土壤水分特性及干旱胁迫下烟苗生长发育的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(11): 14-21.
- XIA Maolin, LI Hongchen, ZHAO Huaxin, et al. Effect of water adsorption polymer size on soil water retention and growth of tobacco seedlings[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(11): 14-21.
- [11] 杜维薇, 刘子凡, 董志国, 等. 埴土大颗粒保水剂的吸水、释水及保水保肥特性研究[J]. 热带农业科学, 2021, 41(5): 1-5.
- DU Weiwei, LIU Zifan, DONG Zhiguo, et al. Characteristics of large granule water retaining agent in absorption, release and retention of water and fertility[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2021, 41(5): 1-5.
- [12] 黄占斌, 孙朋成, 钟建, 等. 高分子保水剂在土壤水肥保持和污染治理中的应用进展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 125-131.
- HUANG Zhanbin, SUN Pengcheng, ZHONG Jian, et al. Application of super absorbent polymer in water and fertilizer conversation of soil and pollution management[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(1): 125-131.
- [13] 武毅, 孙保平, 张建锋, 等. 保水剂对 4 种木本植物生长及根系形态的影响[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(1): 96-102.
- WU Yi, SUN Baoping, ZHANG Jianfeng, et al. Effects of water-retaining agent in different dosage on the growth and root morphology of 4 woody plants[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(1): 96-102.
- [14] 马征, 董晓霞, 张柏松. 不同保水剂对土壤团聚体组成及微生物量碳、氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(5): 122-128.
- MA Zheng, DONG Xiaoxia, ZHANG Bosong. Effects of different kinds of super absorbent polymers on distribution and stability of clay soil aggregate and soil microbial biomass C, N[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2018(5): 122-128.
- [15] 李沼鹤, 师庆东, 韩舒, 等. 三种不同保水剂在不同土壤质地和埋深条件下保水性能的比较[J]. 节水灌溉, 2018(6): 28-34.
- LI Zhaoti, SHI Qingdong, HAN Shu, et al. Comparison of water holding capacity of three types of different super absorbent polymer under different soil texture and depth[J]. Water Saving Irrigation, 2018(6): 28-34.
- [16] 王琰, 井大炜, 付修勇, 等. 保水剂施用量对杨树苗土壤物理性状与微生物活性的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 53-58.
- WANG Yan, JING Dawei, FU Xiuyong, et al. Effects of application amount of super-absorbent polymer on soil physical characteristics and microbial activity under poplar seedlings[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 53-58.
- [17] 臧小平, 云天艳, 马蔚红, 等. 化肥减施条件下配施保水剂对滴灌香蕉相关性状的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(3): 40-46.
- ZANG Xiaoping, YUN Tianyan, MA Weihong, et al. Amending soil with absorbent polymers to avert banana yield decline after reducing chemical fertilizations[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(3): 40-46.
- [18] 郑亚楠, 支金虎, 刘海江, 等. 不同改良措施对沙化土壤水分、pH 值和电导率的影响[J]. 塔里木大学学报, 2020, 32(3): 61-71.
- ZHENG Ya'nan, ZHI Jinhu, LIU Haijiang, et al. Effects of different improvement measures on water content, pH value and conductivity of sandy soil[J]. Journal of Tarim University, 2020, 32(3): 61-71.
- [19] 席利娟, 杨洁, 邱霞, 等. 丙烯酰胺保水剂对清见橘橙根际环境及果实品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(5): 532-538.
- XI Lijuan, YANG Jie, QIU Xia, et al. Effects of the acrylamide super absorbent polymers on the rhizosphere environment and fruit quality of Kiyomi tangor[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2018, 44(5): 532-538.
- [20] 周江涛, 程存刚, 闫帅, 等. 复合覆盖对旱地苹果叶片矿质元素及果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2020(5): 46-50.
- ZHOU Jiangtao, CHENG Cungang, YAN Shuai, et al. Effect of composite mulching patterns on mineral element contents of leaves and fruit quality of apple in dryland[J]. Northern Horticulture, 2020(5): 46-50.
- [21] 程柳, 李静. 3, 5-二硝基水杨酸法测定山楂片中还原糖和总糖含量[J]. 轻工科技, 2016, 32(3): 25-28.
- [22] 张立军, 樊金娟. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [23] 袁晓春, 李辅碧, 陈屏昭. Folin-Ciocalteu 法测定昭通苹果总酚含量[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(21): 292-294, 349.
- YUAN Xiaochun, LI Fubi, CHEN Pingzhao. Measure of total polyphenols content in Zhaotong apples by folin-ciocalteu method[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(21): 292-294, 349.
- [24] 孙琛梅, 程冬冬, 杨超越, 等. 土壤肥力质量与苹果生长、产量及品质关系的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2022(2): 207-215.
- SUN Chenmei, CHENG Dongdong, YANG Yuechao, et al. Research progress of the relationship between soil fertility quality and the growth, yield and quality of apple[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(2): 207-215.
- [25] 皇甫红芳, 李荫藩, 李刚, 等. 不同直径保水剂对土壤水分及燕麦生长的影响[J]. 山西农业科学, 2017, 45(9): 1 480-1 482.
- HUANGFU Hongfang, LI Yinfan, LI Gang, et al. Effects of water preserving agent with different diameters on soil moisture and growth of oats[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 45(9): 1 480-1 482.
- [26] 潘泉, 张小强, 鲁耀泽, 等. 保水剂不同施量对滑子菇和平菇生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(9): 15-20.
- PAN Xiao, ZHANG Xiaoqiang, LU Yaoze, et al. Effect of different application concentrations of SAP on the growth of slide mushroom and pleurotus ostreatus[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(9): 15-20.
- [27] 张丽芳, 胡海林. 土壤酸碱性对植物生长影响的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(8): 40-43.
- ZHANG Lifang, HU Hailin. Research progress on effect of soil pH on plant growth[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2020, 48(8): 40-43.
- [28] 王鼎, 李跃进, 李青春, 等. 河套地区盐碱土复合调理剂配方筛选研究[J]. 中国土壤与肥料, 2020(4): 192-201.
- WANG Ding, LI Yuejin, LI Qingchun, et al. Study on the optimum formulation selection of compound conditioner for saline-alkali soil in Hetao area[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2020(4): 192-201.
- [29] 岑睿. 不同改良剂对河套灌区典型土壤理化特性及作物生长影响机理试验研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- CEN Rui. The effect of different soil improvers applying in typical irrigation area on the soil water movement mechanism and crop growth characteristics[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017.
- [30] 李洪娜, 许海港, 任怡华, 等. 不同施氮水平对矮化富士苹果幼树生长、氮素利用及内源激素含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1 304-1 311.

- LI Hongna, XU Haigang, REN Yihua, et al. Effect of different N application rates on plant growth, ^{15}N -urea utilization and hormone content of dwarf apple trees[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(5): 1 304-1 311.
- [31] 陈修森, 肖伟, 孙科鹏, 等. 干旱胁迫下保水剂对苹果幼苗生长和氮素吸收分配的影响[J]. *植物生理学报*, 2018, 54(9): 1 499-1 506.
- CHEN Xiumiao, XIAO Wei, SUN Kepeng, et al. Effects of super absorbent polymers on growth and nitrogen absorption and distribution of apple seedlings under drought stress[J]. *Plant Physiology Journal*, 2018, 54(9): 1 499-1 506.
- [32] 高安妮, 杨景芳, 豆永康, 等. 秸秆覆盖和保水剂对苹果园土壤理化性状及果实品质的影响[J]. *烟台果树*, 2016(1): 15-16.
- [33] 宫丽丹, 陶亮, 贺熙勇, 等. 保水剂在澳洲坚果丰产栽培中的应用与经济效益分析[J]. *中国南方果树*, 2016, 45(4): 77-79.
- [34] 贾明方, 曹辉, 杜远鹏, 等. 保水剂对红地球葡萄生长发育的影响[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2015(1): 17-20.
- JIA Mingfang, CAO Hui, DU Yuanpeng, et al. Effects of super absorbent polymers on growth and development of Red Globe grapevine[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2015(1): 17-20.
- [35] 唐忠厚, 魏猛, 陈晓光, 等. 不同肉色甘薯块根主要营养品质特征与综合评价[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(9): 1 705-1 714.
- TANG Zhonghou, WEI Meng, CHEN Xiaoguang, et al. Characters and comprehensive evaluation of nutrient quality of sweet potato storage root with different flesh colors[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(9): 1 705-1 714.

Response of soil physicochemical properties and fruit quality to CL-PAM-Ks in apple orchards in dryland

AN Xiaojuan^{1,2}, GUO Zhigang^{1,2}, CHEN Nana¹, JIA Yuanyuan¹, LI Yutao³, ZOU Yali^{1,2}, HU Liping^{1,2*}

(1. College of Bioengineering and Biotechnology, Tianshui Normal University, Tianshui 741000, China;

2. Sweet Cherry Technology Innovation Center of Gansu Province, Tianshui Normal University, Tianshui 741000, China;

3. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: 【Background】Drought is an important factor restricting China's agricultural development. Tianshui City of Gansu Province is located in the inland, with a warm temperate semi-humid and semi-arid climate, thin soil layer, unfertile land and lack of irrigation conditions. Natural rainfall is an important source of agricultural irrigation water, but affected by geographical location and climatic conditions, the average annual rainfall is small and uneven. As a result, crops have low utilization efficiency of rainfall. Therefore, it is particularly important to improve crop water use efficiency in arid areas. CLP type super absorbent polymer is a kind of new polymer materials, water absorption and water retention ability is very strong, containing a large number of strong water absorption, high permeability can be induced by association with and through the base mesh structure, absorb hundreds of times to thousands of times more than its weight of water, for a variety of crops, fruit trees, vegetables and so on root directly provide plenty of water, to ensure that the crop growth environment, It has positive significance to improve the water use efficiency of orchard. 【Objective】The purpose of this paper is to study the effect of CLP type super absorbent polymer on soil physical and chemical properties and fruit quality of apple orchard in dryland. 【Method】This experiment used crosslinked polyacrylamide (acrylamide-potassium acrylate copolymer, English name is CL-PAM-K, abbreviated as CLP) super absorbent polymer. Set four treatments, respectively were: CK: no super absorbent polymer; T1:150 g/plant; T2:250 g/plant; T3:350 g/plant. Soil water content, soil nutrients, fruit appearance quality and nutritional quality were measured to comprehensively evaluate the effects of each treatment on soil physical and chemical properties and fruit quality. 【Result】At the bud stage, T1 treatment decreased the soil electrical conductivity by 5.70%, 10.82% and 19.64%, in the 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm soil layers, respectively. At fruit ripening stage, T1 treatment increased the soil water content by 7.26% and 39.12% in the 20-40 cm and 40-60 cm soil layers, respectively, while decreasing the pH value by 3.43%, 1.38% and 0.23% in the 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm soil layers, respectively. The fruit peel puncture strength increased by 16%. The application of 250 g/plant increased the soil water content and available nitrogen in the 0~20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm soil layers at the bud stage, as well as the available potassium in the 0-20 cm and 40-60 cm soil layers at both the bud stage and fruit ripening stage. The application of 350 g/plant increased the available phosphorus in the 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm soil layers at both the bud stage and fruit ripening stage. The application of 250 g/plant increased the soluble protein and total phenol content of apple fruits.【Conclusion】The application of 350 g/plant was the optimal amount of drought-resistant soil amendment to improve soil physical and chemical properties and enhance fruit quality in dryland apple orchards.

Key words: super absorbent polymer; apple orchard; soil physicochemical properties; fruit quality

责任编辑: 赵宇龙